

직류 비접지계통의 절연저항측정장치(IMD)의 사고검출특성에 관한 연구

김기영*, 김미성**, 박재범**, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과, **한국화학융합시험연구원

e-mail:g2rkg@koreatech.ac.kr

A Study on Fault Detection Characteristics of Insulation Monitoring Device in Ungrounded DC System

Ki-Young Kim*, Mi-Sung Kim**,

Jae-Bum Park**, Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**Korea Testing & Research Institute

요 약

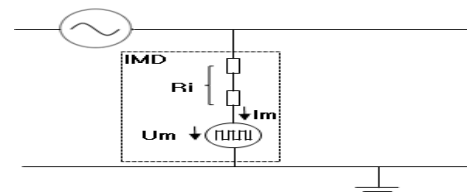
최근 신재생에너지 및 분산전원의 급속한 보급과 직류부하의 증가로 인하여 직류급전에 대한 관심이 높아지고 있으며, 그에 대한 접지방식 및 보호기기에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 직류급전방식을 사용하는 기존의 직류부하망과 도시철도 등은 비접지방식인 IT 접지 시스템으로서 지락고장발생 시 고장전류의 경로가 없고, 정상상태 전류에 비하여 큰 차이가 발생하지 않기 때문에 지락고장검출이 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 절연저항측정장치(IMD: Insulation Monitoring Device)를 직류 비접지계통의 보호기기로 활용하기 위하여, 기존 계통에서의 IMD 적용사례 및 검출원리를 분석하였다. 또한, 상용전력계통해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 직류 비접지계통과 IMD를 모델링하고, 동일한 계통을 H/W 시험장치로 구현하여 직류비접지계통에서의 지락사고 특성과 IMD 동작특성을 분석하였다. 이를 통해 직류 비접지계통의 지락사고를 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석하여 본 논문에서 제안한 방안의 유효함을 확인하였다.

1. 서 론

최근 신재생에너지 및 분산전원의 급속한 보급과 직류부하의 증가로 인하여 직류급전에 대한 관심이 높아지고 있으며, 기존의 교류계통을 직류계통으로 변환하기 위한 연구 및 실증이 활발히 이루어지고 있다. 한편 다수의 직류급전계통에서는 사고전류가 적고, 한 상만 지락 시 지속적인 전원공급이 가능한 장점으로 인하여, 비접지방식인 IT 접지방식을 적용하고 있다. 그러나 이러한 비접지 직류계통은 지락고장발생 시 고장전류의 경로가 없고, 정상상태 전류에 비하여 큰 차이가 발생하지 않기 때문에 지락고장검출이 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 직류 비접지계통의 지락사고 보호기기로서 절연저항측정장치(IMD: Insulation Monitoring Device)를 적용하기 위하여, IMD의 사고검출원리 및 기존계통에서 적용사례를 분석한다. 또한, IMD의 절연저항감지 동작특성을 분석하여, 사고검출을 정확하게 판단할 수 있는 방안을 제안한다. 이를 바탕으로, PSCAD/EMTDC모델링 및 H/W시험장치구현을 통하여, 직류 비접지계통 지락사고를 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석한 결과, 본 논문에서 제안한 사고검출방안의 유용성을 확인하였다.

2. IMD의 보호방식과 사고검출특성 분석

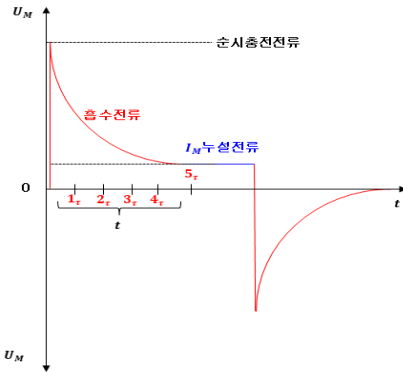
현재, IMD방식의 보호기기는 발전소 및 제철소의 주요 직류제어전원회로 및 저압직류배전계통 등에 널리 적용되고 있다. 일반적으로 비접지 직류계통의 절연저항을 측정하여, 지락사고를 감시하는 IMD방식의 보호기기는 그림 1과 같이 전력선과 대지사이에 펄스전원(직류전압)을 인가하여, 절연저항을 감시하는 방식이다.



[그림 1] IMD 보호기기 보호방식

한편, 직류전압을 인가한 절연체에는 순간적인 충전전류가 흐르게 되고, 그림 2와 같이 이 값은 차츰 감소하여 일정한 누설전류 값으로 수렴한다. 여기서, 직류전압을 인가한 순간에 흐르는 충전전류를 순간 충전전류라 하며, 이 전류가 일정한 누설전류로 수렴할 때까지 흐르는 과도전류를 흡수전류라 한

다. 따라서 정확한 절연저항을 측정하기 위해서는 누설전류를 순간 충전전류의 안정구간에서 측정하는 것이 중요하며, 안정구간까지의 방전시간을 고려하면 그림 2와 같이 일정 계측시간 t 가 소요된다.



[그림 2] IMD 보호기기 계측시간

상기 그림에서 U_M 을 계측전압으로 가정할 경우, 계측전압은 각 펄스 동안에 계통 누설캐패시턴스로 충·방전되며, 그 충·방전 시간 t 는 그림과 같이 5τ 이다. 여기서 τ 는 식 (1), 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 이를 t 에 관한 식으로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$t = 5\tau \quad (1)$$

$$\tau = \frac{R_i \times R_E}{R_i + R_E} \times C_E \quad (2)$$

$$t = 5 \times \frac{R_i \times R_E}{R_i + R_E} \times C_E \quad (3)$$

상기의 식 (3)에 표 1의 일반적인 계통변수를 적용하여 계산하면, 식 (4)와 같이 약 3.5[s] 정도의 시간이 소요됨을 확인할 수 있다. 즉, IMD방식의 보호기기는 지락사고를 검출하기 위하여, 최소한 4[s] 정도 소요됨을 알 수 있다.

[표 1] IMD 계측시간 계산 적용변수

변수	적용 값
R_i	120k
R_E	200k
C_e	10uF

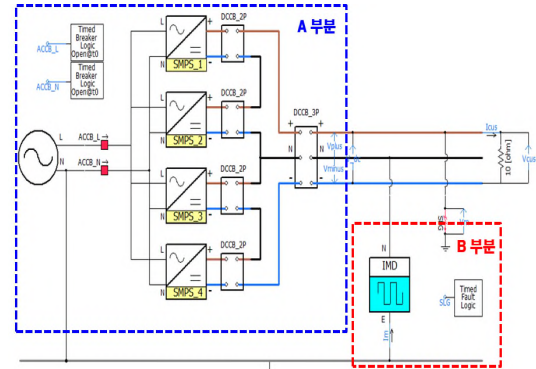
$$t = 5 \times \frac{120k \times 200k}{120k + 200k} \times 10 = 3.75[s] \quad (4)$$

3. 직류 비접지계통 사고특성 모델링 및 H/W시험장치 구현

3.1 S/W를 이용한 직류 비접지계통 모델링

직류 비접지계통에 있어서, 지락사고 검출특성을 모의하기

위하여, 전체계통과 IMD 보호기기를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링을 수행하면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 직류 비접지계통부는 A부분과 같이 AC전원부와 직류전원 공급을 위한 DC전원부, DC선로부로 구성되고, IMD보호기기부는 B부분과 같이 지락사고발생기와 IMD로 구성된다.

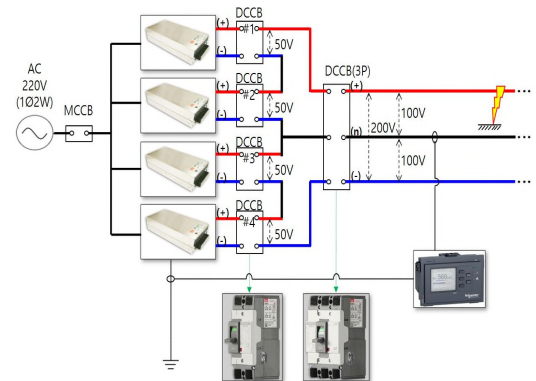


[그림 3] 비접지직류계통 및 IMD 보호기기모델링

여기서, AC전원부는 단상 220[V]의 전압원, DC전원부는 200[Vdc]의 전압원으로 모델링하며, 사고를 모의하기 위한 DC선로부는 중성선을 사용하여, Bi-pole 비접지방식으로 모델링한다. 한편, 지락사고발생기는 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 사고발생 컴포넌트를 사용하며, 계통의 특성에 따라 고장저항을 다양하게 가변시킬 수 있다.

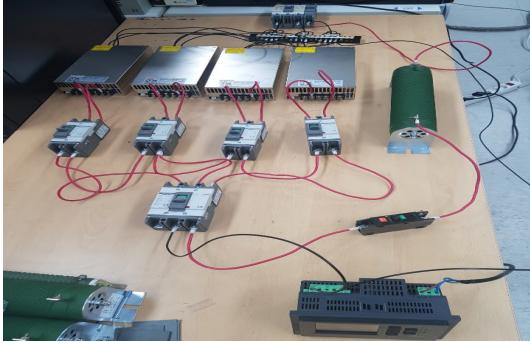
3.2 H/W를 이용한 직류비접지계통 지락시험장치의 구현

직류 비접지계통에 있어서, 지락사고 및 IMD의 사고검출 특성을 분석하기 위하여, 전체계통과 IMD 보호기기로 구성된 시험 장치의 회로를 구성하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 직류 비접지계통부는 A부분과 같이 AC전원부와 직류전원 공급을 위한 DC전원부, DC선로부로 구성되고, IMD보호기기부는 B부분과 같이 지락사고발생기와 IMD로 구성된다.



[그림 4] 비접지직류계통 지락사고 시험회로

여기서, AC전원부는 단상 220[V]의 상용전원, DC전원부는 50[Vdc]의 SMPS(Switch Mode Power Supply) 4대를 직렬 연결하여 200[Vdc]의 출력을 낼 수 있도록 구성하였다. 한편, 시험장치 회로부의 연결장치와 지락사고 발생기는 그림 5와 같이 DCCB(DC Circuit Breaker)를 이용하여 구현하였으며, 사고유무를 판단하기 위한 IMD는 같이 S사의 I모델을 선정하여 시험장치로 구성하였다.

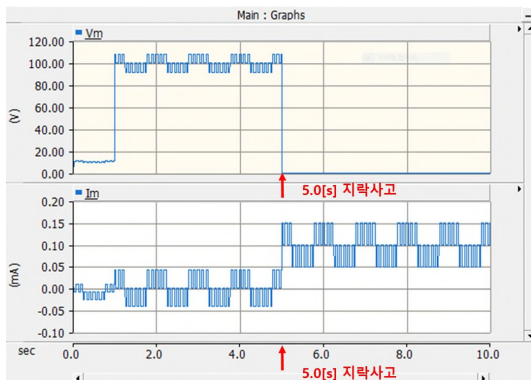


[그림 5] 비접지직류계통 지락사고 시험장치

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 S/W를 이용한 직류 비접지계통 지락고장 특성분석

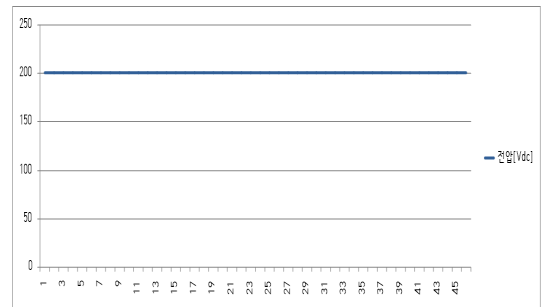
상기에서 제안한 모델링을 바탕으로, 신호주입방식의 IMD 보호기기를 적용한 직류 비접지계통의 지락사고에 특성을 분석하면 그림 6과 같다. 여기서 그림 6(a)는 지락고장 시의 전압 파형을 나타내고, 그림 6(b)는 전류파형을 나타낸다. 먼저, 그림 6(a)와 같이, 정상상태일 경우 전압은 약 90~110[V]이지만, 지락고장 발생 후, 전압은 0[V]로 감소함을 알 수 있다. 한편, 그림 6(b)와 같이 전류는 정상상태에서 -0.05[mA]에서 +0.05[mA] 값이지만, 전류는 0.15[mA]로 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통해, 비접지 직류계통에서 지락사고 발생 시, 전압 값은 사고 전과 비교하여 확연히 감소하지만, 전류 값의 변화는 수[mA] 이내로 값의 변화가 미미하여 지락고장을 확실하게 검출하기 어려움을 알 수 있었다.



[그림 6] PSCAD/EMTDC모델링의 시뮬레이션 결과

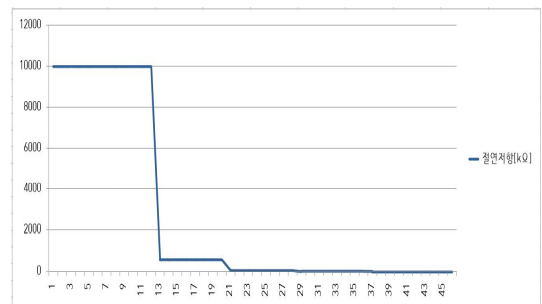
4.2 H/W를 이용한 직류 비접지계통 지락고장 특성분석

상기 3.2절에서 구현한 직류비접지 계통과 IMD로 구성된 H/W시험 장치로, 직류 비접지계통의 지락사고 및 IMD의 동작특성을 분석하면 그림 7, 8과 같다. 먼저 그림 7은 약 5[s]에서 지락고장이 발생한 경우의 전압파형을 나타낸다. 지락 사고 발생한 5[s] 전과 후 모두 전압의 변동이 없어 사고유무를 판단할 수 없음을 확인할 수 있다.



[그림 7] H/W 시험장치 지락 시 전압특성

한편, 그림 8은 지락 시 IMD에 의하여 측정된 절연저항의 값을 나타낸다. 앞서 분석한 바와 같이 비접지 직류계통의 지락 시 사고전류의 변화가 미미하여 IMD를 보호기기로 이용하여 절연저항을 감지한 결과이다. 그래프를 분석하면 IMD는 12[s]까지 약 10,000[kΩ]의 절연저항 값을 감지하다가, 13[s]에서 580[kΩ]으로 감소함을 확인 할 수 있다. 즉, 지락사고가 발생한 5[s]로부터 사고를 감지하기까지 약 8[s]의 타임딜레이가 발생함을 확인할 수 있다. 또한, 그 이후 8[s] 시간이 흐르고 절연저항 값이 52[kΩ]으로 감소하였으며, 지락사고 발생 40[s]가 경과한 후 0.18[kΩ]까지 값이 감소하였다. 이를 통해, IMD가 계통의 절연저항 값을 일정한 시간지연을 갖고 측정하며, 그 값이 점차 감소함을 확인할 수 있다.



[그림 8] H/W 시험장치 지락 시 IMD 측정 절연저항특성

상기의 H/W시험결과를 분석하면 IMD가 기준에는 절연저항을 상시 모니터링하기 위한 용도로 사용되었지만, 지락 시 확연히 감소된 절연저항 값을 안정적으로 감지하여 보호기기로 활용할 수 있음 확인하였다. 그러나 사고를 감지하기까지 약 8[s]의 타임딜레이가 발생하며, 절연저항 값의 감소가 최

초 감지 후 8[s]단위로 단계적으로 감소하여 기존의 보호기기에 비해 동작시간이 많이 소요됨을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 직류 비접지계통의 지락사고 보호기기로서 절연저항측정장치(IMD)를 적용하기 위하여, IMD의 사고검출원리 및 기존계통에서 적용사례를 분석하였다. 또한, 직류 비접지계통에서의 지락 시 값의 변화가 미세한 사고 전류 대신, IMD를 활용한 절연저항 값 측정을 통하여 사고를 정확하게 판단할 수 있는 방안을 제안하였다. 한편, 상용전력계통해석프로그램인 PSCAD/ EMTDC를 이용하여, 직류 비접지계통과 IMD를 모델링하였으며, 이와 동일한 계통을 H/W 시험장비로 구현하여 지락사고 및 IMD의 동작특성의 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 이를 통해, 본 논문에서 제시한 방식에 의한 IMD 적용 방안이 사고감지에 다소 시간이 소요되지만, 직류 비접지계통의 지락사고 시, 보호기기로써 활용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.2019291010 0250)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 박철원, “비접지 LVDC 배전망의 지락고장 검출을 위한 분석”, 전기학회논문지, 제 67권 3호, pp. 119-124, 9월, 2018년.
- [2] 김용중, 김효성, “DC배전계통의 보호를 위한 활성절연저항 감시기”, 전력전자학술대회논문집, pp. 235-236, 7월, 2014년.
- [3] 이경민, 김도연, 김종우, 안태풍, 박철원 “IT접지 LVDC 배전그리드의 지락고장 검출”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 11월, 2018년.